# 应急情报协同服务多代理系统模型构建与服务机制设计*

郭骅[1,2] 屈芳[3] 王莹[1] 李佳[4]
[1] 河海大学商学院 南京 211100 [2] 河海大学世界水谷研究院 南京 211100
[3] 江苏省通信服务公司 南京 210006 [4] 中南大学商学院 长沙 410083

摘 要：[目的/意义] 解决如何将分散的情报服务组织起来协同工作的代理系统结构和业务流程问题，推动情报服务从"节点服务"向"过程性服务"转型。[方法/过程] 采用参与式观察、半结构化访谈以及推理演绎的方法，研究构建和初步验证应急情报服务多代理系统在跨组织协作场景下的原理和机制。[结果/结论] 根据案例分析和流程推演，提出扩展的 BDI 多代理模型和情报服务映射机制，为应急情报协同服务的技术框架提供理论基础。

关键词：情报服务 应急情报 多代理
分类号：G250.7
DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2021.16.001



## 1 引言

目前大多数国家政府对突发事件采用分类管理、分层集中的体制，这导致情报资源的孤岛化和情报服务的条块化。由于越来越多的突发事件显现出复杂性和跨域性，跨组织协作成为应急情报服务的必要模式。依靠集中化的组织形态或是分散的响应结构是两种截然不同的协作模式。根据协同学理论思想，协调网络组织间的情报服务比将所有服务维持在一个集中框架下更为有效[1]。李阳和孙建军[2]指出突发事件应对是一个多服务主体参与的情报资源供给运转系统。当多个服务主体共同组成情报服务网络，突发事件应急响应中的虚拟化协作可以跨越组织机构和管理层级[3]。网络节点之间的日常情报交互促进潜在协作组织之间的相互作用，使其维持在有效的常态关系水平并在应急态中协同工作[4]。

协调多个情报服务主体的工作通常采用对数据库、信息库和知识库进行集成整合的方式，或是采用领域本体融合的方法构建元搜索引擎。这主要解决了不同情报系统之间的互操作性问题[5]，但是尚未解决如何将分散的情报服务组织起来协同工作的系统结构和业务流程问题。多代理系统使用代理之间的协作来改善单个代理的功能[6]，有助于推动情报服务从"节点服务"向"过程性服务"转型[7]。多代理系统通常关注于代理之间的互构关系和集体环境[8]，忽视了系统外部的管理组织关系和社会环境所造成的影响；并且对于过程性服务而言，如何在流程层面灵活组合细粒度的情报服务，在操作上也存在困难。本文通过对典型案例的参与式观察，分析和理解情报协同服务的影响因素和业务需求，提出应急情报协同服务多代理系统的构建思路；通过将情境协调和全局策略纳入经典代理模型解决事件演化和组织约束的问题，设计情报协同服务的映射机制，提出应急情报协同服务多代理系统的解决方案。

## 2 文献综述

代理是通过感知来评估和调整自身行为的自治计算实体，多代理是自治代理的集合[9]。多代理系统具有多种组织模型，如 MOISE[10]、MOISE+[11]、AGR[12]等。在信息科学领域，基于信念、愿望和意图的心理状态的 BDI 代理模型[13-14]得到广泛应用。BDI 模型将多代理系统视为一个集合，即代表代理世界模型的一组信念、代表潜在目标的一组愿望，以及代表实现特定愿望的计划和行动的一组意图。系统输出结果影响环

* 本文系国家社会科学基金重大项目"总体国家安全观下重大突发事件的智能决策情报体系研究"(项目编号:20&ZD125)和河海大学中央高校基本科研业务费人文专项"基于分形的应急响应网络知识组织研究"(项目编号:B210207039)研究成果之一。
作者简介：郭骅(ORCID:0000-0003-3054-4028)，副教授，博士，E-mail:guohua@hhu.edu.cn；屈芳(ORCID:0000-0001-7541-6690)，高级工程师，硕士；王莹(ORCID:0000-0003-0791-115X)，硕士研究生；李佳(ORCID:0000-0002-3563-3612)，硕士研究生。
收稿日期:2020-12-28 修回日期:2021-03-21 本文起止页码:3-13 本文责任编辑:王传清

境输入,对信念集、愿望集和意图集进行顺序更新和间接影响[15],其结构如图1所示:

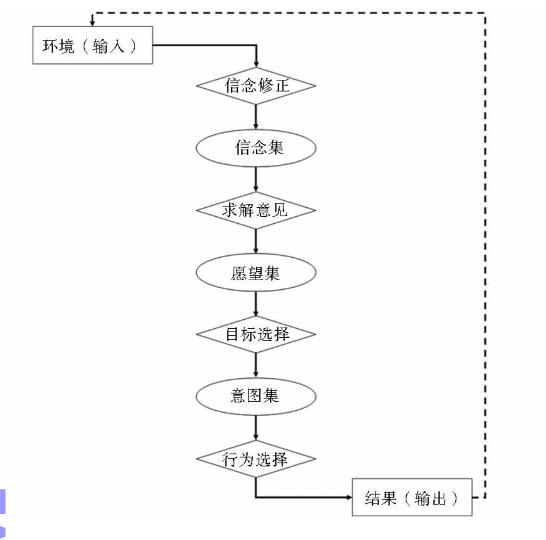



图1 BDI代理模型的推理过程

在不同类型的突发事件以及同一突发事件的不同阶段中,应急情报的需求和来源存在巨大差异,需要跨组织的联动,形成相互关联的数据监测与共享[16-17]。多代理系统的开放性和智能性适用于解决应急情报服务主体的协作和情报网络的自治问题[18],可将情报资源融入突发事件情景,实现随需调配的动态聚合[19]。冯治东等[20]将多代理技术运用于应急领域,研究矿井突水和应急疏散平行仿真的理论方法。张鼎华等[21]研究采用系统动力学和多代理技术的混合仿真技术,从不同层次探究群体性事件的动态演化过程。L. Yu等[22]开发了一种基于多代理的应急信息传播模型以观察和理解危化品泄露突发事件中的舆情环境。J. Yu等[23]将多代理系统技术和多标准评价技术相结合,用于城市应急避难所空间分配的方案设计。Y. Li等[24]运用多代理系统构造人与环境之间的关系,理解控制洪水灾害中人群疏散现象的规则。N. Shaikh等[25]比较了单代理系统和多代理系统在有毒环境中的应急疏散仿真方案,得出多代理耦合效果更佳的结论。

由于传统的多代理模型着眼于系统内部的自我组织[26],因此在应急情报协同服务中,外部环境的强不确定性(即弱先验条件)将导致较低功能层面的代理活性丧失[27]。为解决这一问题,Y. Wang等[28]提出采用情感集并发的方式快速实现系统内外部的交流,以提高BDI模型的响应速度。F. Meneguzzi和M. Luck[29]提出采用隐式目标实现代理的愿望,使代理系统与外部环境的联系更加紧密。A. R. Panisson等[30]认为当社会层面的外部环境变化影响主体心理状态改变时,结构化操作语义难以完整规范多代理系统,需要构建多层次的交互模式以区分和联系社会层面的事件和代理层面的事件。Y. Wautelet和M. Kolp[31]在战略、战术和运营层面分别分析了多代理系统的系统行为和内外部交互。S. Mariani和A. Omicini[8]指出,系统内外部的情境协调已经成为当前研究的一个重要方向。这意味着对于应急情报协同服务多代理系统而言,研究者不但应该关注系统内部的结构,也需要了解和掌握真实情境下的环境构建基础。

## 3 案例分析

### 3.1 案例背景

江苏省东台市是国家智慧城市建设的试点城市之一,从2017年开始启动智慧城市信息基础设施的建设。东台市政府希望通过智慧化的应急情报服务平台的建设运行提升城市应急管理水平。东台市是江苏省辖县级市,由盐城市代管,面积为3 176平方公里,人口有109.81万,2018年GDP值达878.6亿元,是全国综合实力百强县市。东台市应急情报服务平台作为一个子系统嵌入在智慧城市管理系统中,该平台依托一个信息共享交换系统连接24个政府部门的信息系统为应急决策者提供集成化的情报服务。以重大火灾应急处置为例,平台提供的情报服务包括:事故定位、事故定级、受灾程度评估、影响范围预测、影响人口预测、应急资源定位、消防救灾方案、交通管制方案、安置点推荐、绿色救援通道设计、气象信息、历史事件参照,以及现场情况的实时跟踪等。

作为情报服务的集成系统,该平台预先设置了某些跨部门系统间情报协同的预案。但是在更多情况下,由于突发事件的性质、强度、范围和复杂性难以预测,有限的预案难以支持强不确定性条件下的应急决策。平台通过呼叫中心和任务分拨系统协调各部门之间的情报调用,这一过程具有很强的不确定性,因此需要人工审核和批准。集中式的应急情报服务平台的建设运行改善了缺乏全局情报的过往状况,但其效能依然难以满足快速响应和动态调整的要求,这也是我国应急情报协同服务普遍面临的现实困境。

### 3.2 实地调研

研究采用参与式的观察方法以获得真实情境下的一手资料。参与式观察起源于人类学中对小规模同质性文化的研究[32],通过将研究者沉浸在参与者活动和互动的自然环境中以达到理解环境构建基础的目

的[33]。在东台市应急情报服务平台项目的设计阶段和试运行期间(2019 年 8 月至 2020 年 7 月),3 名研究团队成员随系统开发人员和运行管理人员对 31 个部门和单位进行了分组实地调查并参与系统协调工作,了解这些部门和单位对情报服务现状的评价,跟踪情报服务平台的实际运行情况,并对这些部门和单位所使用的 108 个信息系统的数据条目进行汇总,共达到 5 000 + 数据项。在调查的过程中,记录下各个部门对于应急情报协同的讨论内容,并在此基础上与两名应急管理厅的专业人士进行访谈。将上述讨论和访谈内容进行摘要式汇总,以观察跨部门应急情报协同服务中出现的问题,具体内容如下:

摘录 1(受访者 1,应急管理厅)

*受访者:站在应急(管理厅)这个角度来看,没有必要把所有部门全部连通在一起。第一可能工作量会比较大,而且有些信息不一定有用。……跟我们工作联系比较多的、有预案的(突发事件),都联通了这些信息,需要事先协商、授权。……一个并不是我们(应急管理厅)管的突发事件,不是你牵头,你把它硬拉过来管不行。就像这次疫情,(领导)一开始说要应急(管理厅)来管,我们当时跟卫健委对接的时候,让我们报数据。但是什么感染人数、确诊人数,我们都不知道。*

管理职能和组织分工在很大程度上决定了应急情报获取的路径和方式。当面临新型危机时,预设的、固定化的情报获取渠道显得不够灵活。

摘录 2(受访者 2,应急管理厅)

*受访者:我们省目前有 41 个(应急)专项预案,专项预案主要是针对一些影响比较大、性质比较特殊的(突发事件),或者说需要多部门同时联动的。……目前信息系统的联网这块还做不到,我们现在的信息系统就是一个信息的报送,事故信息的报送。*

虽然应急管理部门原则上承担了自然灾害和事故灾害的管理职能,但实际上该部门并没有获得足够的情报支持,其他部门的情况更是如此。在面对新型危机的情况下,一些政府部门甚至不知道自己应该获取哪些情报和从哪里获取这些情报。

摘录 3(受访者 3,信息中心)

*研究人员:如果遇到新的、缺少应急预案的突发事件,这个时候怎么办?*

*受访者:可以借鉴之前类似的应急预案,也可以根据经验做一些调整。领导小组进行商榷,出台一个适合突发情况的应急处理方式。……需要一个机制开展工作,把各部门充分调动起来。*

*研究人员:如果我们发现这个事件发展演化了,需要更多的部门参与呢?*

*受访者:需要新的局委办参与进来,需要怎样的信息、情报,达到什么样的效果,更多的依赖于领导的决定。*

在集中的组织形态下,应急情报协作主要依赖领导的经验和决策能力。许多应急预案是框架性的,情报的来源和组织方式并不明确,需要新的情报服务机制来解决。

摘录 4(受访者 4,园区管委会)

*受访者:……条块为主(的体制),导致我们基层有个什么问题呢,就是填不完的报表,各种口径的报表。卫生防疫、社区管理、社会安全由不同部门负责,关注的信息都不一样。……最难的是各个部门之间的协调的问题。*

应急响应的不同参与主体已经从各自渠道获取了情报,但是缺少网络层面的协调。

摘录 5:(受访者 5,水务局)

*研究人员:(信息)中心反映水务局的数据出于保密要求不能接入,请问有没有技术上的变通方式?*

*受访者:水文情报是专业性很强的,给你数据你们也看不懂。怎样预警、会有什么样的风险,还是要我们做判断。*

摘录 6:(受访者 6,电信公司)

*受访者:我们不能向政府直接提供用户数据,但是一些经过计算的服务可以提供。比如(大型文体活动)风险区域的人群集聚规模,交通高峰期的流动性指标。*

不仅水务局和电信公司,还有其他一些部门也强调了数据安全的问题,例如人社局、商务局和城管局,许多部门不约而同地提出以服务而非原始数据的形式供应情报的可行性。

### 3.3 结果分析

首先,通过调查和访谈可以观察到组织职能、业务分工、信息安全等因素均影响了应急情报协同的效果。能否在突发事件处置中及时获取所需的情报不仅仅是一个技术问题,并且易受到组织结构的约束。其次,当面临未曾经历的新型突发事件或突发事件的演化产生溢出效应时,集中框架下依托应急预案的情报协同容易出现失效情况。最后,情报协同不等同于数据交换,情报服务包含了不同层面的服务组合,存在多个服务主体协同工作的需要。

将情报服务主体视为智能代理，多代理系统将有助于化解情报协同服务的困境，这需要重点考虑情境演化和组织约束的因素：①由于突发事件情境演化对潜在的情报服务主体有不同的参与要求，情报协同服务的推理不仅是代理系统内部自组织的问题，并且更加受到外部环境的影响，例如突发事件的溢出效应引发跨域性情报需求，导致新的情报服务主体的参与；②由于应急管理体制存在政策取向等约束，代理系统的服务策略可能被上位策略所支配，所以应急管理部门倾向于采用本地系统或存在传统服务关系的情报机构所提供的情报，或者出于保密等原因排除特定的情报服务主体。除此以外，应急情报服务所要求的快速响应对多代理系统的推理效率提出了巨大挑战。经典 BDI 代理模型还不能有针对性地解决以上问题，需要在应急情报服务的特定场景应用中进一步研究和提出解决方案。

## 4 代理模型和服务机制

### 4.1 代理模型构建

将情境协调和全局策略纳入经典 BDI 模型，为应急情报协同服务设计新的多代理系统模型：定义代理为一阶逻辑结构 Ag：<Eve，Bel，Pol，Sit，Des，Int>，其中 Ag 为代理标识符，Eve 为事件堆栈，Bel 为信念集，Pol 为策略集，Sit 为情境解释器，Des 为愿望集，Int 为意图集。

事件堆栈是事件的分类序列，体现状态、信念、目标和任务的变更，多个事件相互关联复合，构成了计划调用的初始条件；策略集是全局策略和本地策略的并集，其中全局策略反映了应急管理部门对情报服务网络的组织约束，例如选择偏好和政策取向；情境解释器是突发事件情境演化过程中外部环境在代理系统中的映射，其输出与代理系统的内部环境影响共同修正了信念集；信念集包含初始设置的元信念以及代理系统的内部环境解释；愿望集是基于信念的更新选择将要达成的目标，其目标选择受到策略的约束；意图集包括计划库和行动，通过代理行动实现愿望，计划的制定亦可由事件状态触发的隐式目标达成。将经典代理模型进行扩展，扩展后的 BDI 代理的内部结构如图 2 所示：

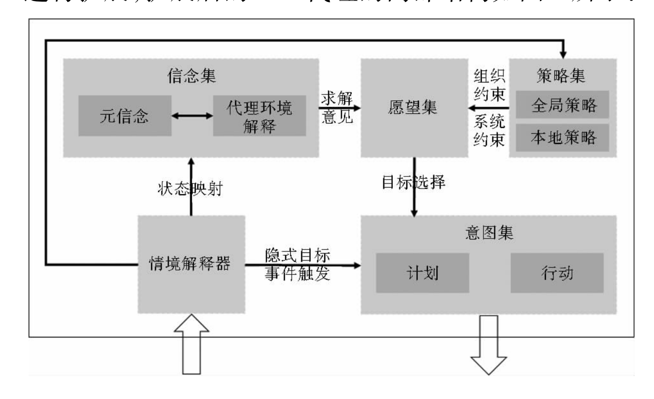



图 2 应急情报服务代理的内部结构

由此，情境协调成为一个闭环的过程。代理从客观世界中感知突发事件的演化信息，通过情境识别和解释，将外部环境的状态映射至信念，并在全局策略的约束下执行推理过程以选择预定义的计划，或者根据情境匹配隐式目标生成新的计划。代理行动既影响了多代理系统本身，也通过管理活动对系统外部环境发生作用，进而影响全局策略的选择，约束代理个体的愿望。构建应急情报服务多代理的元模型，可协调处理情报服务网络各节点之间的业务互动和位置互动，如图 3 所示：

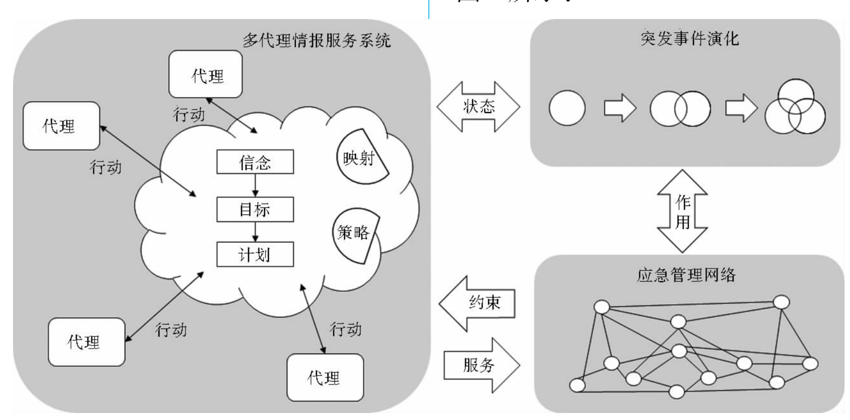



图 3 应急情报服务多代理元模型

### 4.2 服务映射机制

应急情报服务主体具有差异化的服务能力和提供不同的服务内容。在不同的业务场景下，同一个情报服务主体既可以处于提供集成服务的位置，也可以处

于服务被集成的位置,或者被临时调整出情报服务网络。综合考虑应急管理部门的选择偏好和面临的决策问题的上下文,情报任务被触发后多代理系统的服务聚合逻辑将产生适应性变化。情报任务可以被逐次分解为用户层面的语义逻辑、系统层面的业务流程,以及资源层面的细粒度服务组合,而情报服务网络需要通过一定的映射机制实现对异构网络环境下的底层情报服务资源的穿透式调用。采取流程和资源两级映射的模式聚合应急情报服务,如图 4 所示:

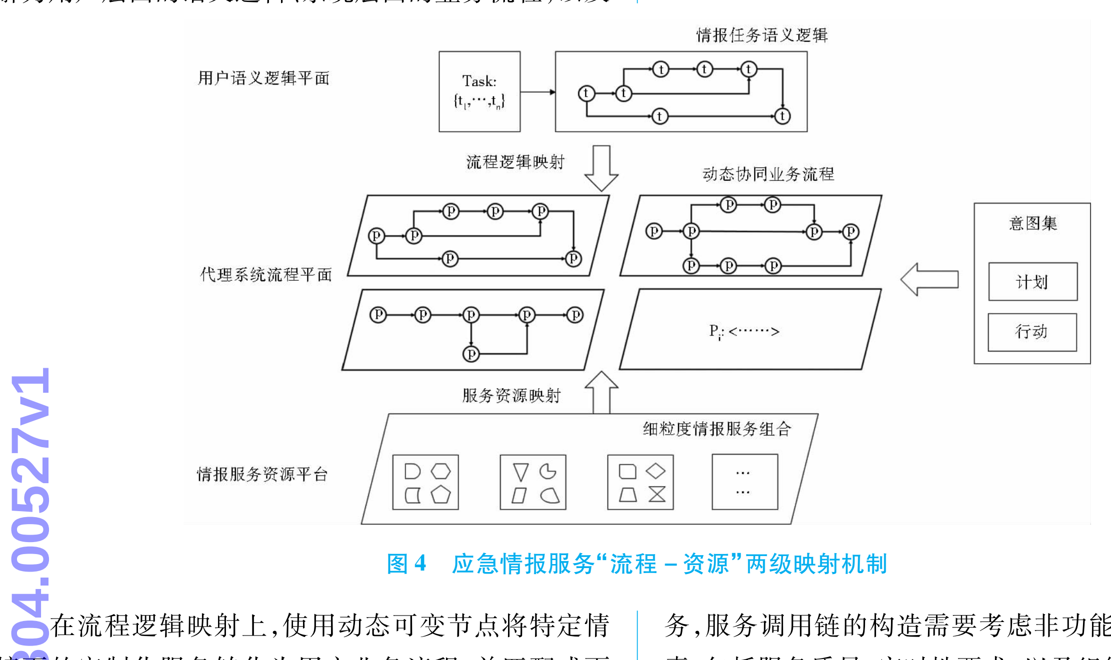



图 4　应急情报服务“流程－资源”两级映射机制

在流程逻辑映射上,使用动态可变节点将特定情境下的定制化服务转化为用户业务流程,并匹配或更新计划。在服务资源映射上,通过构建服务调用链在代理之间或者代理内部组合细粒度情报服务资源。由于存在能够完成相似任务且具有相同意愿的情报服务,服务调用链的构造需要考虑非功能属性偏好的因素,包括服务质量、实时性要求,以及组织约束条件(如代理选择的偏好和代理节点之间的先验路径)。应急情报服务聚合流程如图 5 所示:

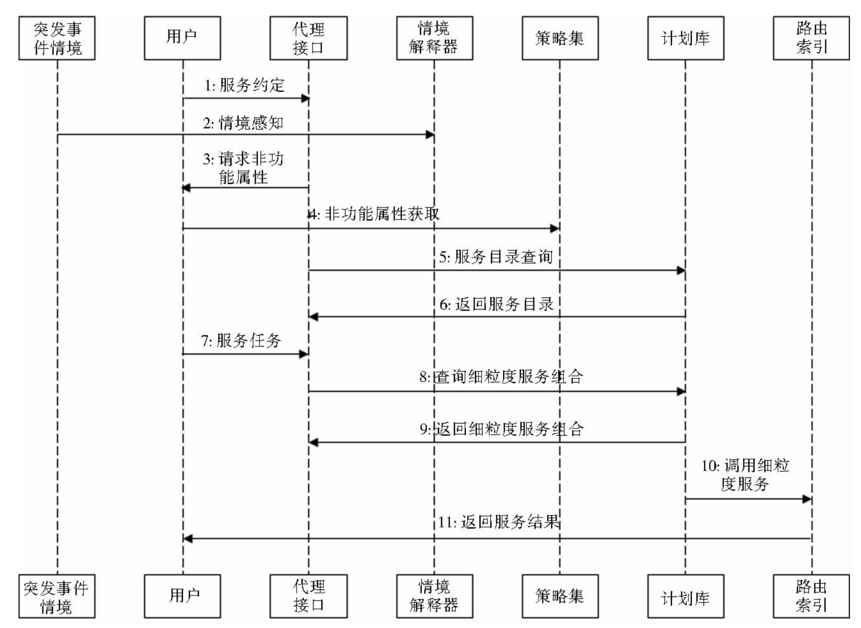



图 5　应急情报服务聚合流程

定义细粒度情报服务为 S,服务调用行为 I 由特征向量六元组{$Invoke_{ID}$, $S_i$, $S_j$, F, $Ag_i$, $Ag_j$}构成。其中 $Invoke_{ID}$表示调用请求,$S_i$ 表示请求调用的服务,$S_j$ 表示被调用的服务,F 表示调用方法或函数,$Ag_i$ 表示请求调用服务的代理,$Ag_j$ 表示被调用服务的代理。特定情报服务业务流程对应的服务调用链由所有参与服务

调用的行为和代理组成，即 $Link_{ID} = (I_1, \cdots, I_i, \cdots, I_n, Ag_c)$。其中 $Link_{ID}$ 表示服务调用链，$I_i$ 表示调用链上的第 i 个服务调用行为，$Ag_c$ 表示向最终用户（即下达情报任务的应急管理部门）提供情报集成服务的代理。可采用结构化的路由覆盖机制建立代理之间的调用关系，通过分布式哈希表实现结构化的路由索引以提高服务的发现效率[34-35]。将细粒度服务的关键要素描述为一个键组（如服务名称、服务类型、代理位置、服务主体、服务可用性等），将键组插入分布式哈希表中并建立恰当的索引约定，通过对多个键的检索来发现和定位代理[36]。

## 5 情报协同服务验证

### 5.1 数据来源

笔者将东台市应急情报服务平台的数据资源集作为主要数据来源，以验证多代理系统支持的情报协同服务。设置的模拟环境中包含来自 14 个部门的 31 个信息系统的数据，这些信息系统是与一个城市中突发事件应急管理直接相关的情报源，见图 6。对于更低层次的细粒度情报服务和已有业务数据未能覆盖的情报需求，采用模拟的方式构造数据源。

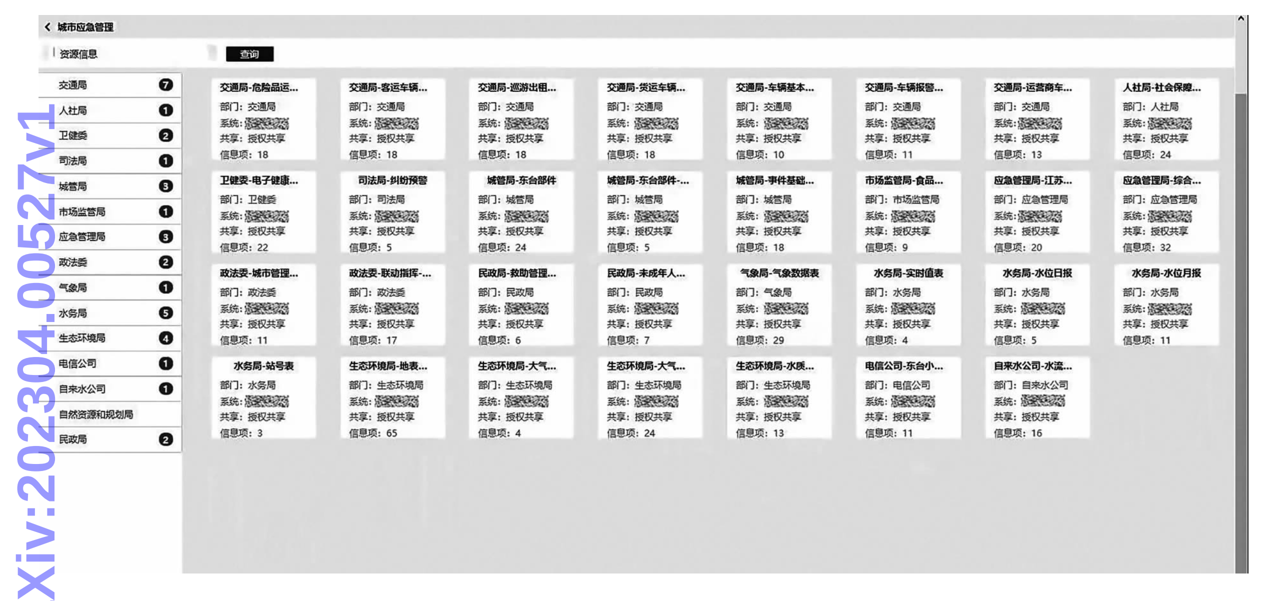



图 6 模拟环境中的数据来源

采用前置代理模式调用服务，通过后台调用情报服务的过程如图 7 所示：

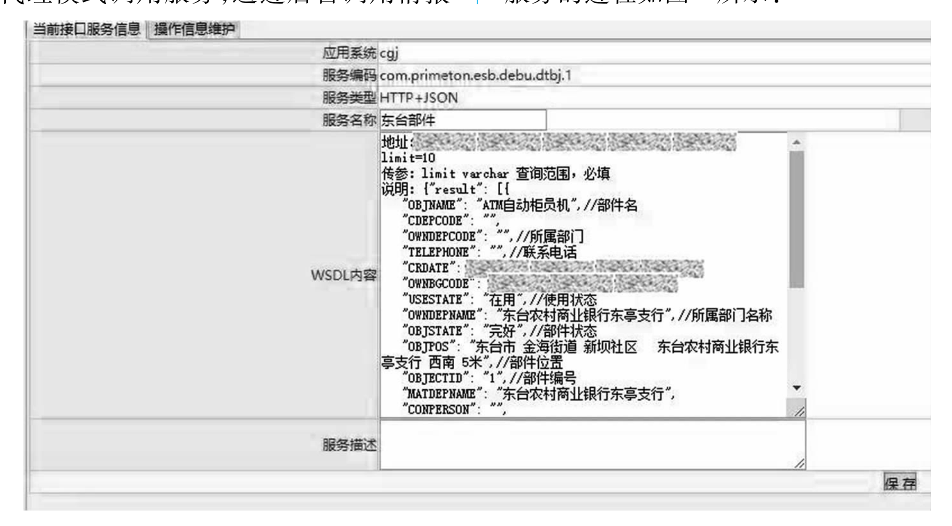



图 7 调用情报服务的过程界面

### 5.2 模拟业务场景

由于东台市本地缺少跨组织、跨领域的重大突发事件案例，所以采用处于同一地级市的江苏响水“3·21”化工厂爆炸事故为例重构业务场景。这一事

件由重大安全生产事故引发，产生了包括生产安全、环境保护、医疗救护、交通运输等多方面的应急情报需求。根据 L. Du 等[37]对该突发事件的二手资料（政府文件、情况报告和新闻报道）的分析，将应急响应划分为 4 个阶段：T1 事故突发阶段（21/03 事发）、T2 控制火势阶段（21/03－22/03）、T3 完成搜救阶段（23/03－25/03）、T4 善后处置阶段（26/03－27/03）。每个阶段存在不同的应急管理职能需求和加入新的应急管理组织，如图 8 所示：

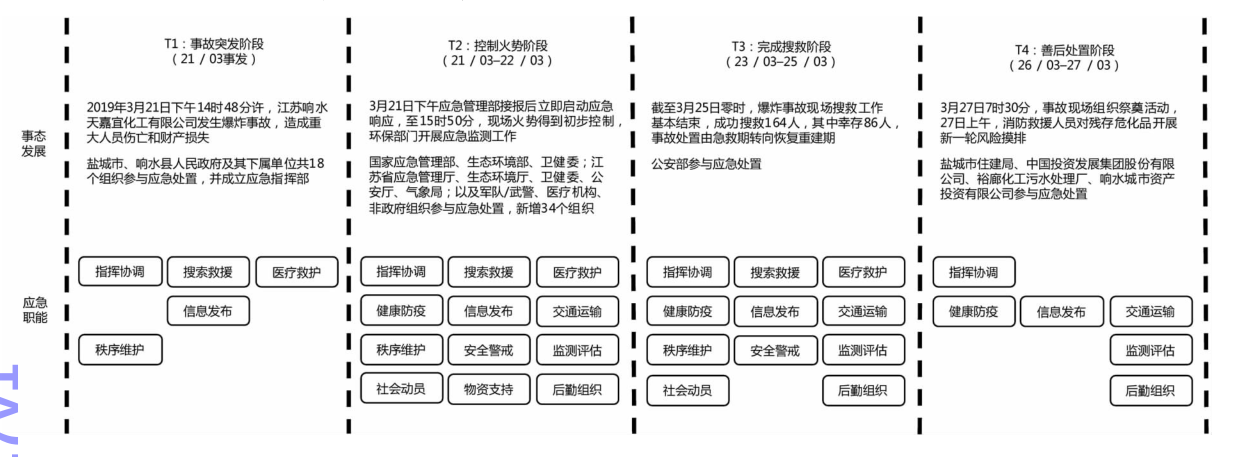



图 8　事故演化和应急处置阶段[38－39]

### 5.3　情报服务的动态组织

在突发事件演化发展的不同阶段，应急情报服务的全局策略伴随应急管理关注重点的不同也发生改变，情境演化改变了全局策略，并与全局策略共同构成了应急情报服务多代理系统的外部环境。多代理系统固然存在内化的信念、愿望、策略和意图，网络节点之间的位置和关系却受到外部环境的直接作用，情报服务的组织呈现动态发展的过程。根据扩展后的 BDI 模型定义应急情报服务多代理系统 Ag-net：{$Ag_0$，$Ag_1$，$Ag_2$，…，$Ag_n$}，每个代理提供各自领域的情报服务。设置在突发事件发生之前，各个情报服务主体以单代理的形式为其上级主管部门提供服务，缺乏情报服务的网络化业务逻辑，依据先验路径获得的信念反映了情报服务主体各自为战的现实状况。在突发事件发生之后，伴随事故现场指挥部和情报服务网络的建立，不同类型的情报服务主体逐次加入，代理系统的内部环境发生改变，$Ag_0$ 成为直接向指挥部提供情报服务的集成代理。在突发事件演化的不同阶段，情报任务、事件情境和组织关系发生改变，情报服务网络 Ag-net 根据全局策略和行动计划动态调整代理之间的位置和关系，完成目标所需的业务流程和调用相应的细粒度服务资源，其组织过程见表 1。

以 T2 阶段产生的有关次生事故处置方案的情报服务过程为例，说明代理实现的机制和协同服务的路径，见图 9。多代理系统与用户约定将 $Ag_0$ 作为所有情报服务的集成代理，用户获取情报服务目录，提出情报任务，即如何防止和处置次生事故。这一任务可进一步分解为防止二次爆炸事故发生和处置环境污染灾害这两个子任务。在业务逻辑上将两个子任务继续分解，得到包括爆炸现场的情境解释，事发企业及化工园区的仓储危化品种类、规模，大气、水体、土壤的监测检测和预测数据，以及基于位置的社会经济信息等细粒度情报服务需求及其之间的联系，将这些业务需求映射在系统流程平面上，形成细粒度的情报服务组合。在满足服务主体选择偏好和服务质量、实时性要求等非功能性要求的前提下，多代理系统提供应急情报协同服务的结果，其过程受到事件情境和用户所代表的制度约束。情报协同服务的过程所形成的虚拟网络并非集中式的星型网或树状网，而是根据任务需求和全局策略选择的集中与分散相结合的形态。

将系统的每个组成部件都视为多代理模型所提供的代理、计划、信念、愿望和策略的模板的实例，图 10 描述了多代理系统结构设计的一部分。其中 $Ag_0$ 和 $Ag_3$ 分别是所有服务的集成代理和次生事故应急方案集成的中间层代理，其在图 9 所示的情报协同服务中均居于相对重要的位置。如果代理无法完成用户提出的情报任务，在发送服务决定时，可以选择拒绝服务或者要求更换情报服务网络中的节点位置。

**表 1 应急情报服务多代理组织过程**

| 阶段 | 情报任务 | 事件情境 | 策略 | 计划－路由 |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 爆炸起因和火灾规模 | 事件演化:天嘉宜公司贮存的硝化废料自燃引发爆炸,大量企业、商户、居民房屋受损<br>应急组织:消防接警处置,医疗救护展开,市县迅速开展应急处置 | 事发突然,非常规突发事件无预案,缺乏全局策略 | $Ag_j$ $Ag_i$ $Ag_k$ |
| T2 | 爆炸起因;次生事故预案;灭火与防污协调;灭火组织方案 | 事件演化:火势得到控制,大批群众疏散,居民献血,社会秩序亟待维护<br>应急组织:应急管理部启动应急响应,省内外协同支援 | 全局策略 1:$Ag_0$ 作为直接向应急指挥部提供情报服务的集成代理<br>全局策略 2:相互影响和关联的不同领域问题在较低层次集中解决 | $Ag_0$ $Ag_1$ $Ag_2$ $Ag_3$ $Ag_4$ $Ag_5$ |
| T3 | 致伤机制分析;急诊和手术方案;医疗救治组织方案 | 事件演化:现场集中搜救结束,完成伤员转运收治,开展现场侦毒检测,停课学校复课<br>应急组织:应急管理职能从各分散部门转移到应急指挥部 | 全局策略 3:涉及多个地方部门的同一领域信息由指定部门统一提供,如与大气、水体和土壤污染相关的数据由生态环境局负责的 $Ag_2$ 统一提供 | $Ag_0$ $Ag_6$ $Ag_9$ $Ag_7$ $Ag_8$ |
| T4 | 污染源信息;防控资源;监测检测布控方案;污染防控组织方案 | 事件演化:污染监测布控,事故场地调查及风险评估,现场机动侦检、定点洗消<br>应急组织:强化后勤支持,灾后重建和污染治理单位参加应急管理 | 全局策略 4:多个部门同时可以提供的相似信息由指定部门合并清理后统一提供,如基于位置的信息由自然资源和规划局负责的 $Ag_4$ 统一提供 | $Ag_0$ $Ag_1$ $Ag_5$ $Ag_2$ $Ag_4$ |

注:$Ag_1$,气象水文监测代理{气象预报信息,水文监测信息,…};$Ag_2$,环境污染监测代理{大气污染监测数据,水体污染检测数据,土壤污染检测数据,…};$Ag_3$,灾害处置方案代理{特定危化品火灾扑灭方式,防止次生事故的方案,…};$Ag_4$,地理信息数据代理{航拍地图,基于位置的人员和建筑物分布,基于位置的社会经济数据,…};$Ag_5$,化工园区信息代理{企业经营范围,仓库存储的危化品品类、规模和位置,…};$Ag_6$,医疗资源信息代理{床位数据,手术台次数据,医护资源数据,药材器械设备数据,应急场所数据,…};$Ag_7$,伤员转运方案代理{转运伤员数量,伤员转运能力和运输工具,伤员转运路线和路况,…};$Ag_8$,伤情救治方案代理{重症/危重症分类,急症处置时限,伤情特征分析,…};$Ag_9$,卫生防护知识代理{心理卫生防护知识,驻地卫生防疫知识,个人化学防护知识,…}

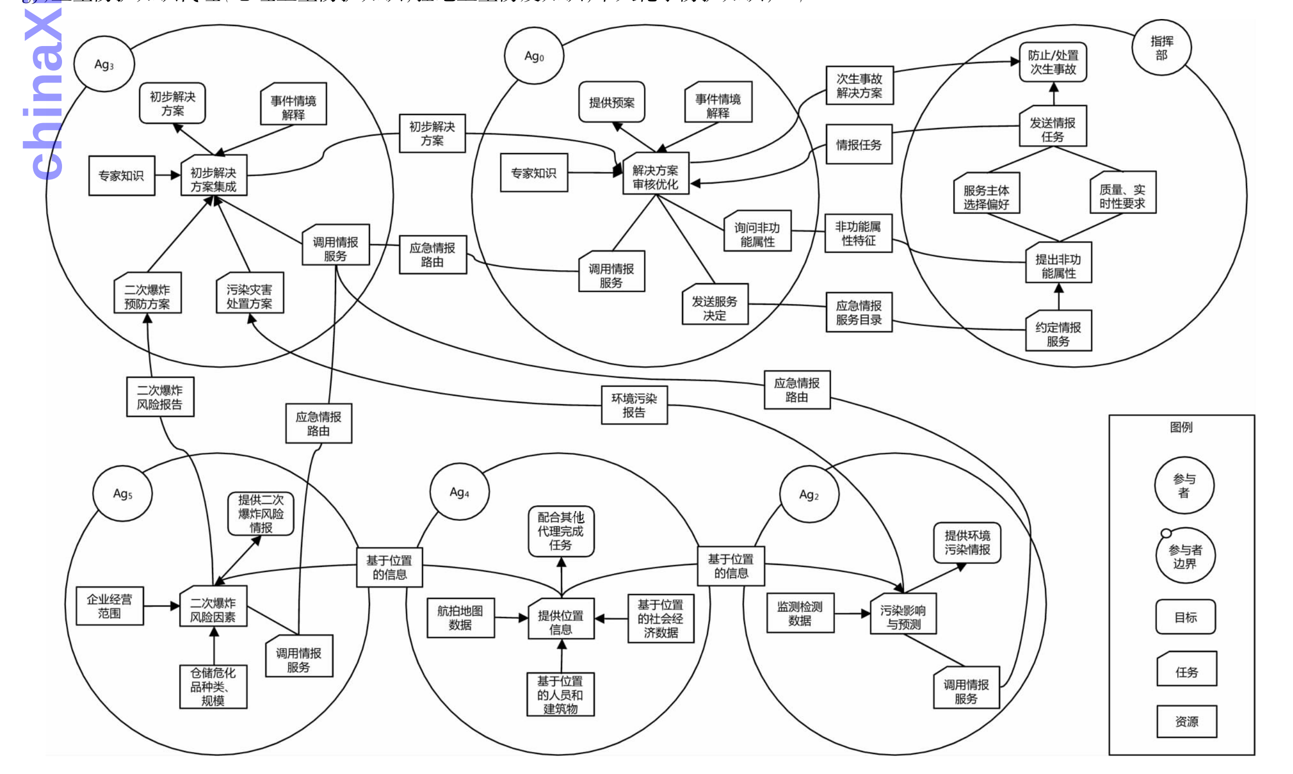


图 9 多代理实现机制和协同服务路径

郭骅，屈芳，王莹，等. 应急情报协同服务多代理系统模型构建与服务机制设计[J]. 图书情报工作,2021,65(16):3－13.

<代理> $Ag_0$
属性
集成服务代理
事件
约定应急情报服务
接受情报任务
计划
发送服务决定
询问非功能属性
感知和解释事件情境
调用本地专家知识
调用情报服务
审核优化解决方案
信念
私有信念
本地专家知识
系统信念
应急情报服务目录
愿望
提供情报集成服务方案
策略
代理选择
应急情报服务路由

<代理> $Ag_3$
属性
中间层服务代理
事件
情报服务调用
计划
感知和解释事件情境
调用本地专家知识
调用情报服务
生成初步解决方案
信念
私有信念
本地专家知识
系统信念
应急情报服务目录
愿望
提供二次爆炸预防方案
提供污染灾害处置方案
策略
应急情报服务子路由

<计划>发送服务决定
事件
句柄
可用性查询
发送
应急情报服务目录
情报资源申请
拒绝服务
更换服务位置

<信念>本地专家知识
属性
领域知识
知识索引编码
情境
更新
情境解释

<愿望>
位置
集成服务代理
中间层服务代理
被集成服务代理
信念
修正
代理环境解释
代理角色转变

<策略>
属性
全局策略
类型
服务主体选择偏好
条件
$\{Ag_0, Ag_1, Ag_2, Ag_3, Ag_4, Ag_5, Ag_6, Ag_7, Ag_8, Ag_9\}$

图 10　多代理系统的结构模板

## 6　结语

突发事件的情境演化特征、情报服务网络的异构性特征，以及应急管理组织对情报服务网络的干预显著影响了情报服务的协作。多代理系统不能仅依赖于系统内部的信念、愿望和意图实现确定性环境下的情报协同服务，还需要引入新的预置条件和触发条件以实现灵活动态的业务流程。本研究根据对真实案例的调查访谈，观察和发现应急情报协同服务中存在的组织约束和情境演化的问题，基于社会建构的观点提出一种新的应急情报服务多代理系统，将情境协调和全局策略纳入多代理模型，以在情境演化和组织约束的条件下协调情报服务主体之间的关系，提高应急情报服务的组织效能；并将动态可变节点引入情报服务虚拟协作网络，采取业务流程逻辑和情报服务资源的两级映射模式聚合细粒度服务，为用户提供个性化、定制化的情报服务组合，形成对应急情报协同服务的整体性支撑。

本研究尚存在一些局限和不足：首先，集中和分散式相结合的情报协同服务流程建立在演绎推理的基础上，缺乏对实际系统运行的验证；其次，由于没有部署和运行系统，缺少了事后评价的方法和结果。在今后的研究中，有必要基于多代理的理论和方法深化改造已经完成的应急情报服务系统，并基于突发事件应急响应的实例评估其实施效果。此外，还需要进一步细分和解析多代理之间的非合作情况类型及其应对措施，消解模糊性、异步性、无效性、无能性和时空冲突，促进应急情报服务主体之间关系的动态重组。



**参考文献：**


[1] LEONARD H B, HOWITT A M. Organising response to extreme emergencies: the victorian bushfires of 2009 [J]. Australian journal of public administration, 2010, 69(4): 372－386.

[2] 李阳，孙建军. 面向智慧应急的情报资源保障能力建构[J]. 情报学报, 2019, 38(12): 1310－1319.

[3] BROOKS J M, BODEAU D, FEDOROWICZ J. Network management in emergency response: articulation practices of state-level managers-interweaving up, down, and sideways[J]. Administration & society, 2012, 45(8): 911－948.

[4] KAPUCU N, GARAYEV V. Designing, managing, and sustaining functionally collaborative emergency management networks [J]. The American review of public administration, 2011, 43(3): 312－330.

[5] DU W, CHENG X S, YANG C, et al. Establishing interoperability among knowledge organization systems for research management: a social network approach [J]. Scientometrics, 2017, 112(3): 1489－1506.

[6] LEI Z Z, WANG L. Construction of organisational system of enterprise knowledge management networking module based on artificial intelligence [EB/OL]. [2021－03－21]. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14778238.2020.1831892? journalCode=tkmr20.

[7] 李品，许林玉，杨建林. 面向智库服务的情报研究[J]. 情报学报, 2020, 39(2): 135－147.

[8] MARIANI S, OMICINI A. Coordinating activities and change: an event-driven architecture for situated MAS [J]. Engineering applications of artificial intelligence, 2015,41: 298－309.

[9] CASTELFRANCHI C. Goals, the true center of cognition[C]// PAGLIERI F, TUMMOLINI L, FALCONE R, et al. The goals of cognition, essays in honor of Cristiano Castelfranchi, Tributes (20). London: College Publications, 2012: 837－882.

[10] HANNOUN M, BOISSIER O, SICHMAN J S, et al. MOISE: an organizational model for multi-agent systems[C]// International joint conference of the 7th Ibero-American conference on AI/15th Brazilian symposium on AI. Berlin Heidelberg: Springer, 2000: 156-165.
[11] HÜBNER J F, SICHMAN J S, BOISSIER O. MOISE +: towards a structural, functional, and deontic model for mas organization [C]// The 1st international joint conference on autonomous agents & multiagent systems. Bologna: ACM, 2002: 501-512.
[12] FERBER J, GUTKNECHT O, MICHEL F. From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems[C]// 4th international workshop on agent-oriented software engineering. Melbourne: Springer, 2003: 214-230.
[13] RAO A S, GEORGEFF M P. BDI agents: from theory to Practice [C]//The 1st international conference on multi agent systems (ICMAS 1995). San Francisco: The MIT Press, 1995: 312-319.
[14] WOOLDRIDGE M. An introduction to multiagent systems [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
[15] MENEGUZZI F, RODRIGUES O, OREN N, et al. BDI reasoning with normative considerations [J]. Engineering applications of artificial intelligence, 2015, 43: 127-146.
[16] 储节旺, 汪敏, 郭春侠. 云平台驱动的应急决策情报工程架构研究[J]. 图书情报工作, 2019, 63(16): 5-13.
[17] 曹振祥, 储节旺, 郭春侠. 面向重大疫情防控的应急情报保障体系理论框架构建——以 2019 新型冠状病毒肺炎疫情防控为例[J]. 图书情报工作, 2020, 64(15): 72-81.
[18] 姚乐野, 李明, 曹杰. 基于 Multi-Agent System 的应急管理多元主体信息互动机制初探[J]. 情报资料工作, 2018(3): 44-50.
[19] 范炜, 胡康林. 突发事件应对中的情报资源观及动态聚合研究[J]. 图书情报工作, 2016, 60(23): 23-29.
[20] 冯治东, 王桃, 顾清华, 等. 矿井突水平行应急管理理论和方法基础研究[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(12): 3289-3296.
[21] 张鼎华, 李卫俊, 申世飞. 基于混合仿真的群体性事件演化机理建模分析研究[J]. 情报杂志, 2019, 38(7): 131-137, 130.
[22] YU L, LI L, TANG L, et al. A multi-agent-based online opinion dissemination model for China's crisis information release policy during hazardous chemical leakage emergencies into rivers [J]. Online information review, 2017, 41(4): 537-557.
[23] YU J, ZHANG C R, WEN J H, et al. Integrating multi-agent evacuation simulation and multi-criteria evaluation for spatial allocation of urban emergency shelters [J]. International journal of geographical information science, 2018, 32(9): 1884-1910.
[24] LI Y, HU B S, ZHANG D, et al. Flood evacuation simulations using cellular automata and multiagent systems -a human-environment relationship perspective [J]. International journal of geographical information science, 2019, 33(11): 2241-2258.
[25] SHAIKH N, KAKOSIMOS K E, ADIA N, et al. Concept and demonstration of a fully coupled and dynamic exposure-response methodology for crowd evacuation numerical modelling in airborne-toxic environments [EB/OL]. [2021-03-21]. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420310827.
[26] BOES J, MIGEON F. Self-organizing multi-agent systems for the control of complex systems[J]. Journal of systems and software, 2017, 134: 12-28.
[27] 王越, 吴建光, 胡进, 等. 面向复杂多阶段任务的多活性代理系统活性度量化策划方法[J]. 北京理工大学学报, 2018, 38(7): 703-708.
[28] WANG Y, ZHU F, GENG H, et al. An extension dynamic model based on BDI agent [C]// International conference on applied physics and industrial engineering. Amsterdam: Elsevier, 2012: 1928-1934.
[29] MENEGUZZI F, LUCK M. Declarative planning in procedural agent architectures [J]. Expert systems with applications, 2013, 40(16): 6508-6520.
[30] PANISSON A R, BORDINI R H, COSTA A C D. Towards multi-level semantics for multi-agent systems [J]. Electronic notes in theoretical computer science, 2016, 324: 123-134.
[31] WAUTELET Y, KOLP M. Business and model-driven development of BDI multi-agent systems [J]. Neurocomputing, 2016, 182: 304-321.
[32] DAHLKE S, HALL W, PHINNEY A. Maximizing theoretical contributions of participant observation while managing challenges [J]. Qualitative health research, 2015, 25(8): 1117-1122.
[33] MCGRATH C, RUDMAN D L. Using participant observation to enable critical understandings of disability in later life: an illustration conducted with older adults with low vision [EB/OL]. [2021-03-21]. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1609406919891292.
[34] BUFORD J, BROWN A, KOLBERG M. Meta service discovery [C]// 4th IEEE annual international conference on pervasive computing and communications. Los Alamitos: IEEE Computer SOC, 2006: 124-129.
[35] SCHMIDT C, PARASHAR M. A peer-to-peer approach to web service discovery[J]. World Wide Web, 2004, 7(2): 211-229.
[36] BROWN A, KOLBERG M, BUFORD J. An adaptable service overlay for wide area network service discovery[C]// IEEE global telecommunication conference. New York: IEEE, 2007: 1-5.
[37] DU L, FENG Y B, TANG L Y, et al. Time dynamics of emergency response network for hazardous chemical accidents: a case study in China [EB/OL]. [2021-03-21]. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619341095.
[38] 新华网. 以生命的名义——江苏响水"3·21"特大爆炸事故七日祭[EB/OL]. [2021-03-09]. http://www.xinhuanet.com/politics/2019-03/27/c_1124292453.htm.
[39] 应急管理部. 江苏响水天嘉宜化工有限公司"3·21"特别重大爆炸事故调查报告[EB/OL]. [2021-03-09]. http://

yjgl. xinjiang. gov. cn/xjsafety/sgdccl/202005/7c7aac0a10754f0a8a3413d8d4b37b34. shtml.

**作者贡献说明:**

郭骅:论文研究思路和框架设计,论文撰写;
屈芳:多代理原型系统流程和机制设计修改;
王莹:参与式观察,半结构化访谈和调查分析;
李佳:参与式观察,半结构化访谈。

## Multi Agent System Model Construction and Service Mechanism Design of Emergency Intelligence Collaborative Service

Guo Hua[1,2] Qu Fang[3] Wang Ying[1] Li Jia[4]
[1] Business School of Hohai University, Nanjing 211100
[2] World Water Valley Institute, Hohai University, Nanjing 211100
[3] Jiangsu Communication Service Company, Nanjing 210006
[4] Business School of Central South University, Changsha 410083

Abstract: [**Purpose/significance**] In order to solve the problem of agent system structure and business process of how to organize distributed intelligence services to work together, promote the transformation of intelligence services from "node service" to "process service". [**Method/process**] Using the methods of participatory observation, semi - structured interview and reasoning deduction, this study researches the constructed principle and operation mechanism of the multi-agent system of emergency intelligence service in the cross-organization cooperation scenario. [**Result/conclusion**] According to the case analysis with process deduction, the extended BDI multi-agent model and intelligence service mapping mechanism are proposed to provide a theoretical basis for the technical framework of emergency intelligence collaborative service.

Keywords: intelligence service  emergency intelligence  multi agent